

# Restvärmehantering på AB Sandvik Coromant

## *Waste heat management at AB Sandvik Coromant*

Antonia Arab, Erica Evertsson, Lovisa Forsell, Christine Halberg, Marina Pakola, Lukas Reinholdsson, Ida Wållberg

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2020:08  
ISSN 1654-9392  
Uppsala 2020



# Restvärmehantering på AB Sandvik Coromant

Waste heat management at AB Sandvik Coromant

*Antonia Arab, Erica Evertsson, Lovisa Forsell, Christine Halberg,  
Marina Pakola, Lukas Reinholdsson, Ida Wållberg*

**Handledare:** Petra Sieber, institutionen för energi och teknik, SLU  
**Examinator:** David Ljungberg, institutionen för energi och teknik, SLU

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå, fördjupning och ämne:** Grundnivå, G2E, teknik  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i energisystem  
**Kurskod:** EX0946  
**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp  
**Kursansvarig institution:** energi och teknik

**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2020  
**Serietitel:** Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
**Delnummer i serien:** 2020:08  
**ISSN:** 1654-9392  
**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Restvärme, Isolering, Kylmaskin, Livscykelanalys, Arbetsmiljö, Arbetstemperatur, Sverige

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik



### **Abstract**

Industries are facing challenges concerning both climate impact and work environment. AB Sandvik Coromant, a metalworking industry, is not an exception. Due to high temperature processes, the work environment for the employees reaches high temperatures. In this report, two possible solutions are investigated; installation of a cooling machine and insulation of the process ventilation. These two alternatives are compared through simulations of heat transfer and room temperature, together with a Life Cycle Assessment. The desired result is to lower the room temperature to the recommended level. At *maximum load* this study shows that both insulation and the installing of a cooling machine, separately, would be able to decrease the room temperature significantly and fulfill the requirements. It is confirmed that the environmental impact of insulation is remarkably lower than the one of the cooling machine. The final conclusion is therefore that insulation is the most suitable solution to the issues regarding both climate impact and working environment. Although if the chosen maximum temperature is considered too high, a cooling machine would be required as a complement to insulation, to reach even lower temperatures.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>3</b>
1.1	Problembeskrivning . . . . .	3
1.2	Syfte . . . . .	3
1.3	Frågeställningar . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Metod</b>	<b>4</b>
2.1	Systemuppbyggnad och beräkningar . . . . .	4
2.1.1	Processbeskrivning . . . . .	4
2.1.2	Värmeöverföring . . . . .	4
2.1.3	Operativ temperatur . . . . .	6
2.1.4	Tillvaratagande Energi . . . . .	6
2.2	Livscykelanalys . . . . .	6
2.2.1	Funktionell enhet . . . . .	6
2.2.2	Systemavgränsning . . . . .	7
2.2.3	Isolering . . . . .	8
2.2.4	Kylmaskin . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>9</b>
3.1	Värmeöverföring . . . . .	9
3.2	Kylbehov . . . . .	11
3.3	Inventeringsanalys . . . . .	13
3.4	Miljöpåverkansbedömning . . . . .	13
3.5	Känslighetsanalys . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>15</b>
4.1	Rekomendationer . . . . .	17

# 1 Inledning

I dag krävs ett ständigt miljötank när det kommer till alla pusselbitar som ingår och tillsammans bildar ett modernt fungerande samhälle. Detta ställer utformning av fabriker och produktioner inför utmaningar i energi- och klimatfrågor där nytänk och innovativa lösningar är högst aktuellt. Att hitta nya tekniker eller förbättra existerande processer är viktigt inom industrin. I detta projekt behandlas ett problem med oisolerade processventilationskanaler, som avger en mängd spillvärme till omgivningen och orsakar höga arbetstemperaturer. Förväntningen med projektet är att hitta smarta lösningar med utgångspunkt i en minskad energianvändning och klimatpåverkan samt koppla an till en långsiktig och hållbar utveckling.

För att begränsa värmeförlusterna kan ventilationskanaler värmeisoleras. Isolering av kanalerna energieffektiviserar processen och har ett förhållandevis lågt utsläpp av växthusgaser (Paroc u.å.). Genom isolering kan värmeläcket till lokalerna reduceras samtidigt som delar av restvärmeenergin kan tillvaratas.

Installation av en eller flera kylmaskiner är ett alternativ för att nå önskad temperatur i de berörda lokalerna och därmed uppnå en bekväm arbetsmiljö. En kylmaskin kan genom styrning anpassas till vilket väderförhållande som helst, något som är denna typ av lösnings största fördel.

En jämförelse av dessa två alternativ ligger till grund för en rekommendation som kan hjälpa AB Sandvik Coromant att lösa problemet med restvärme på ett så klimatsmart sätt som möjligt.

## 1.1 Problembeskrivning

Skärntillverkning är en av AB Sandvik Coromants mest energikrävande processer. Här används i dagsläget oisolerade processventilationskanaler för att leda bort varm luft efter nedkylning av en process som är uppemot 1 000 °C. En stor mängd av restvärmen går idag förlorad genom oisolerade kanaler, restvärme som skulle kunna tas tillvara. Den värme som avges från kanalerna leder i sin tur till ett arbetsmiljöproblem med höga temperaturer i verkstadslokalerna under varma sommar dagar.

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är att ta reda på hur mycket värme som avges till verkstadslokalerna och om isolering av kanalerna skulle kunna bidra till att temperaturen sänks tillräckligt i dessa lokaler. Temperaturen ska enligt Arbetsmiljöverkets rekommendationer inte överskrida 29 °C för lätt arbete (Arbetsmiljöverket 1997). Temperaturgränsen baseras på de anställdas vistelsetid i lokalerna samt att arbetet antas vara mindre fysiskt krävande. En alternativ lösning i form av en kylmaskin ska också undersökas och en jämförelse mellan denna och isolering ska göras med en bokförings-livscykelanalys. Detta för att hitta bästa lösningen med avseende på både miljö och hållbarhet.

## 1.3 Frågeställningar

- Hur mycket värme avges till lokalerna från processventilationen under *maximal belastning* och vad kan den restvärmen användas till?



- Vad blir miljöpåverkan från de två givna alternativen, isolering av processventilationen jämfört med installation av kylmaskin, om de tillämpas för att uppnå måltemperaturen?
- Vad blir temperaturen i verkstadslokalerna en varm sommardag för respektive alternativ?

## 2 Metod

Metoden i studien består av LCA samt modellering i MATLAB och Simulink.

### 2.1 Systemuppbyggnad och beräkningar

Som nämns ovan utförs beräkningarna i MATLAB och Simulink. Där modelleras ventilationssystemets dimensioner samt lokalernas utformning, vilka uppskattas utifrån ritningar som tillhandahålls av AB Sandvik Coromant. För att testa olika isoleringstypers egenskaper används programmet PAROC Calculus (Paroc 2020).

#### 2.1.1 Processbeskrivning

I projektet undersöks tre verkstadslokaler, V86, V91 och V95, med olika antal produktionslinjer. Varje linje innehåller två vakuumblockor, en generator, en ugn och en kylklocka. Vakuumblockan värms upp i ugnen och är aktiv under cirka 20 timmar. Därefter kyls den ned under cirka sex timmar. Uppvärmningen och nedkylningen alterneras för respektive vakuumblocka; när den ena värms upp kyls den andra ned. Under de tre första timmarna för båda processerna förbränns vätgas och värmen leds bort via processventilationen. Dit förs även värme från nedkylningen av kylklockan.

I projektet beräknas allt utifrån *maximal belastning*. Detta innebär att 12 av 16 linjer är igång varvid uppvärmning och nedkylning påbörjas samtidigt. Det innebär även att maximal uppmätt rumstemperatur under en varm sommardag är cirka 40 °C samt att inloppstemperaturerna i ventilationen är maximala. Inloppstemperaturerna motsvarar då 140 °C för kylklockans ventilationskanal och 830 °C för vätgasförbränningens ventilationskanal. Det sistnämnda är ett uppskattat värde utifrån vätgasens adiabatiska flamtemperatur vid ett luftöverskott på cirka 27 procent. Även en maximal lufthastighet på 20 m/s, utifrån fläktarnas kapacitet, antas på flödet genom hela ventilationskanalerna.

#### 2.1.2 Värmeöverföring

Värmeöverföringen genom en kanal delas upp i tre delar: påtvingad konvektion mellan innerflödet och kanalens inre yta, konduktion genom kanalen i radiell riktning och fri konvektion mellan kanalens utsida och rummet. När värmen överförs genom dessa medier påverkas överföringshastigheten av termisk resistans (Cengel, Cimbala och Turner 2016).

Formeln för värmeöverföringen genom en kanal återfinns i ekvation (1).

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\text{inlet}} - T_{\text{env}})}{R_{\text{tot}}} \quad (1)$$

$R_{\text{tot}}$  är den samlade resistansen från konvektionen och konduktionen. Temperaturerna  $T_{\text{inlet}}$  och  $T_{\text{env}}$  motsvarar inloppstemperaturen till ventilationskanalerna respektive rumstemperaturen.

För värmeflödet i kanalen används ekvation (2)

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{\text{inlet}} - T_{\text{exit}}) \quad (2)$$

där  $\dot{m}$  är massflödet på mediet,  $c_p$  är luftens värmekapacitet och  $T_{\text{exit}}$  är temperaturen i slutet på vald rörlängd. Kröken försummas och vid beräkning av flödets utloppstemperatur itereras ekvation (1) och (2) över varje kanallängd i systemet. Varje linje antas innehålla fyra kanaler kopplade till en huvudkanal som leds till systemets utlopp. Luften från utloppen leds vidare genom fläktar och flänsbatterier ute på tak.

Den ovan beskrivna metoden används för att beräkna värmeöverföringen både med och utan isolering. I det förstnämnda fallet inkluderas isoleringens resistans i ekvation (1). Vid val av tjocklek och isoleringstyp används Parocs egna beräkningsprogram där dimensioner och temperatur ges som inparametrar, vilket resulterar i utparametrar i form av yttemperatur.

Värmeöverföringen från kanalerna används vid beräkningar av rumstemperaturen i lokalerna. För detta används även värmeöverföringen från övriga värmekällor, dvs ugnar, kylklockor och generatorer, samt värmeförluster ut ur lokalerna. Värmeöverföring från dessa värmekällor antas vara strikt fri konvektiv och beräknas med ekvation (3) nedan.

$$\dot{Q} = h A dT \quad (3)$$

$\dot{Q}$  är värmeflödet från värmekällan,  $h$  är värmeövergångskoefficient för lokalen,  $A$  är ytarean av värmekällan och  $dT$  temperaturskillnaden mellan yttemperatur och rumstemperatur.

För att kunna uppskatta rumstemperaturen i en lokal beräknas värmeflödet ut ur lokalen. Värmeflödet genom en lokals avgränsande ytor uppskattas med hjälp av ekvation (4) och värmeförluster från ventilation beskrivs med ekvation (5).

$$\dot{Q} = U A dT \quad (4)$$

$$\dot{Q} = \frac{1}{3} n V dT \quad (5)$$

I ekvation (4) är  $U$  materialets U-värde,  $dT$  är temperaturskillnad över materialet, lokalens rumstemperatur och angränsande lokals rumstemperatur eller utomhustemperaturen. Utomhustemperaturen hämtas från SMHI med utgångspunkt från daglig medeltemperatur i Uppsala under 2018. (SMHI 2019).

Utifrån ekvationer (3)-(5) beräknas lokalernas nettoeffekt, som sedan används vid uppskattning av temperatur och kylbehov i rummen. Variabeln  $n$  i ekvation (5) är luftutbytet i lokalen och  $V$  är luftvolymen.

Implementering av kylmaskin styr nettoeffekten och beror på rumstemperaturen i lokalen relativt en förutbestämd referenstemperatur. Kyleffekten regleras efter denna temperaturskillnad om rumstemperaturen är högre än referenstemperaturen. Modellen bygger på ett återkopplat system som gör att temperaturskillnaden i ett steg påverkar nettoeffekten steget efter.

### 2.1.3 Operativ temperatur

Ett vanligt mått för att uttrycka komfort är att mäta lufttemperaturen, vilket kan vara missvisande eftersom det inte tas hänsyn till exempelvis värmestrålning. För att beskriva temperaturupplevelsen är operativ temperatur ett bättre mått än lufttemperaturen, enligt Warfvinge och Dahlblom (2010a).

$$T_O = \frac{(T_{\text{room}} - T_r)}{2} \quad (6)$$

Den operativa temperaturen,  $T_O$ , beräknas som medelvärdet av luftens temperatur,  $T_{\text{room}}$ , och medelsrålningstemperaturen från omgivande ytor,  $T_r$ , enligt ekvation 6. I detta fall väljes en beräkningspunkt utifrån en vanlig arbetsposition mellan två linjer. Värmekällorna innefattar två ugnar, två kylklockor, två generatorer samt en del av ventilationskanalen. Ytorna antas vara parallella, förutom rören som antas vara vinkelräta, i förhållande till beräkningspunkten.

### 2.1.4 Tillvaratagande Energi

Om ventilationskanalerna isoleras kommer mängden restvärme, som kan tillvaratas, öka. Den energi som finns i värmen beräknas utifrån temperatur och värmefflöde vid utloppet med hjälp av ekvation (2). Detta simuleras över en tid på sex timmar, den tid som det avges mest värme till processventilationen. Utifrån simuleringen erhålls värmeenergin som kan tillvaratas vid utloppet.

## 2.2 Livscykelanalys

Den valda metoden för undersökandet av produkternas miljöpåverkan är en livscykelanalys enligt standarden ISO 14040:2006. LCA-processen bestod av fyra delar - definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning och tolkning av de slutliga resultaten. Två bokföringsanalyser, en för isolering och en för kylmaskiner, har utförts och jämförts kontinuerligt i respektive processteg i analysen. Nedan listas de två miljöpåverkanskategorier som har studerats.

- Klimatpåverkan
- Primärenergianvändning

Global warming potential (GWP) från IPCC(2013) användes som metod vid beräkning av klimatpåverkan. Primärenergianvändningen (PE) beräknades genom att använda faktorer som relaterar slutlig energi till primärenergi. För svensk elmix används 13 gram  $\text{CO}_2$ -ekv per kWh (Energi & klimatrådgivningen 2018) och 1.6 kWh primärenergi per kWh el (Copenhagen economics 2018).

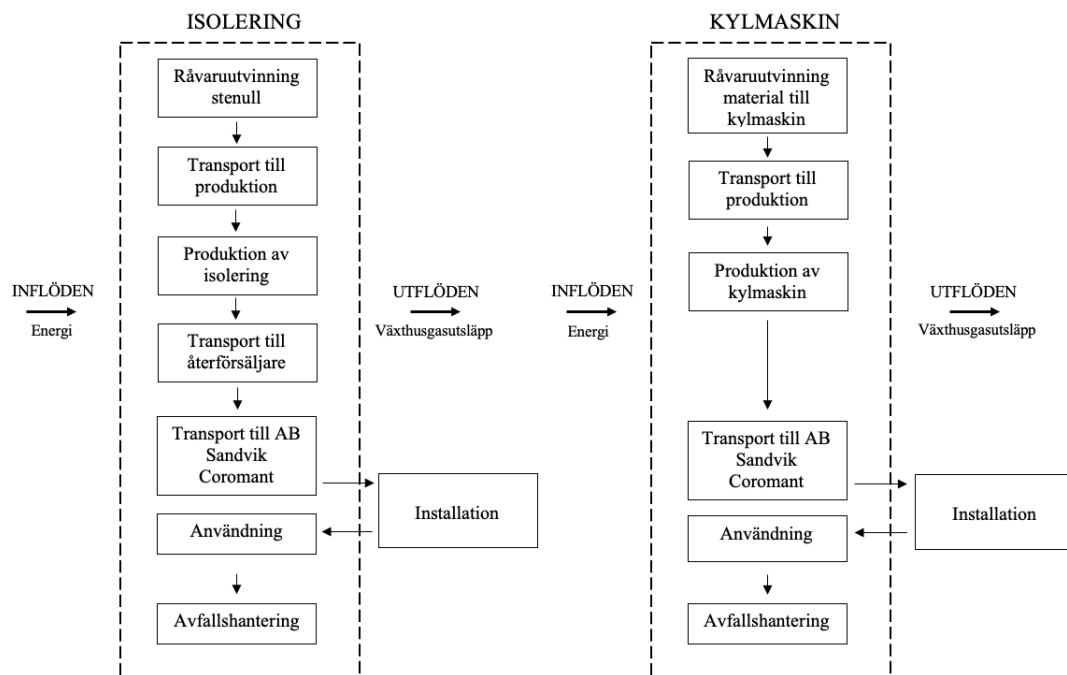
### 2.2.1 Funktionell enhet

Det övergripande målet med projektet är att ej överstiga arbetsmiljöverkets rekommenderade rumstemperatur för en viss typ av arbetsförhållande. Detta leder till att den funktionella enheten valdes

till att begränsa lokaltemperaturen till 29 °C, över ett år. Alla resultat gällande miljöpåverkan i studien presenteras per funktionell enhet.

### 2.2.2 Systemavgränsning

I den insamlade datan för systemet ingick alla rekommenderade processteg från vagga till grav. Det innebär att utvinning av råvaror, produktion, samtliga transportsträckor samt avfallshantering är studerade. Det processteg som inte är studerat är installationen av produkterna. Flödesschemat och de processteg som studerades i livscykelanalysen visas nedan i Figur 1.



Figur 1: Flödesschema som visar de processteg som har studerats, systemgräns samt inflöden och utflöden för respektive alternativ.

I det studerade systemet för kylmaskinen ingick endast själva kylmaskinen. För denna inkluderades data för energianvändning och klimatpåverkan från utvinning av de tre främsta materialen; stålplåt, gjutjärn, rostfritt stål samt transportsträckor av dessa till produktionen av kylmaskinen. Andra ingående delar av kylsystemet, såsom rören, fläktar och kyltorn, inkluderades inte i studien på grund utav tidsbrist samt svårigheter att hitta lämplig data. Exkluderandet av dessa motiveras med att det ej kommer att ha någon större påverkan på det slutgiltiga resultatet då det är själva användningen av kylmaskinen som är den avgörande bidragande faktorn. Kylmaskinen har en livslängd på mellan 20 och 30 år, därav användes medelvärde 25 år i projektet (Soerensen 2020).

Isoleringens livslängd uppgår ungefär till en byggnads livslängd som generellt uppskattas till mellan

50-70 år. Det är påvisat att om isoleringen är monterad korrekt så är materialet opåverkat efter denna tid (Paroc 2017a). Beräkningarna gjordes med ett medelvärde på 60 år. Detta är viktigt då den funktionella enheten som studien baserades på är över ett år.

### 2.2.3 Isolering

Datainventeringen för isoleringen baserades på en redan existerande LCA-studie med den internationella standarden ISO 14025. Denna togs från Parocs EDP miljödeklaration, daterad 2018 (Samuelsson 2019), anpassades för studien och bekräftades genom kontakt med Beatrice Hallen, sustainability Leader på Owens Corning Insulation. Enligt Hallen ska de beräknade värdena av klimatpåverkan vara för höga vilket korrigerades med en minskning på 10 procent. Något som enligt ovannämnda anses vara ett mer korrekt värde på den påverkan som processen bidrar med.

Studien baseras på en produkt gjord av obrännbar stenull som är specialanpassad för att isolera industriella rörledningar med höga temperaturer (Paroc 2017b). Produkten heter PAROC Pro Section 140 och kommer ifrån företaget Paroc som är en underleverantör till den distributör som Sanvik Coromand idag har avtal med. Relevant information om produkten ses nedan i Tabell 1.

Tabell 1: Information om PAROC Pro Section 140.

Material	Tjocklek [cm]	Nominell densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
Stenull	16	140

Den totala volym isolering som skulle krävas för att täcka alla kanaler erhöles genom att multiplicera mantelarean på dessa med isoleringens tjocklek. Uträkningen resulterade i 29 m<sup>3</sup> vilket ledde till att isoleringen totala vikt kunde beräknas till 4 060 kg. Resultaten kunde sedan användas för att räkna om värdena ifrån Parocs EDP och på så sätt få ut isoleringens orsakade miljöpåverkan i form av utsläpp och primärenergiåtgång.

För att beräkna den totala miljöpåverkan ifrån transport av isoleringen delades transportflödet in i tre sträckor. Dessa sträckor kommer vidare att benämnas som sträcka A, B respektive C där A är den första sträckan ifrån utvinningsplatsen till Parocs fabrik belägen i Hällekis. Sträckan B representerar transporten mellan Hällekis och distributören Bilfingers lager i Gimo och den sista transportsträckan, C, mellan detta lager och Sandvik Coromant, också beläget i Gimo. Utsläppen och primärenergianvändningen är för sträcka A, baserad på data framtagen från Parocs EDP medan de för sträcka B och C är beräknade med verktyget NTM Calc.

### 2.2.4 Kylmaskin

AB Sandvik Coromant har tidigare köpt sina kylprodukter från SABROE, vilket ledde oss till att välja en av deras produkter i föreliggande studie, nämligen ChillPAC 24 A. ChillPAC 24 A har 116 kW kylkapacitet och består av stålplåt, gjutjärn och rostfritt stål (Soerensen 2020).

På grund av att detaljerad information om olika mängder material i en ChillPAC saknas, användes data i Tabell 2 som kommer från en värmepump som fungerar på liknande sätt som en kylmaskin

och har liknande komponenter (Eriksson och Göräng 2013). Data om avfallshantering för de material kommer från Ecoinvent, där söktes efter 'market of xxx' som innehåller data med alla aktiviteter såsom återvinning, deponering med mera i en viss geografisk region.

Tabell 2: Tabell över viktandel av de tre huvudmaterialen i kylmaskinen

Material	Vikt [procent]	Vikt [kg]
Stålplåt	47	940
Gjutjärn	10	200
Rostfritt stål	20	400

Miljöpåverkan från användning av kylmaskin uppskattades efter kylmaskinens elförbrukning som omvandlades till mid-point kategorier i livscykelanalysen, med GWP och PE faktorer för svensk elmix. Kylmaskinens elförbrukning antogs ha ett linjärt förhållande med kylmaskinens kylenergi som beräknades med avseende på inomhustemperaturen i lokalerna. Inomhustemperaturerna simulerades timvis under ett år och summerades för att passa den funktionella enheten.

Råvaruutvinningen av huvudmaterialen sker i olika länder i världen och importeras sedan till staden Højbjerg i Danmark där kylmaskinerna tillverkas. Miljöpåverkan från dessa transportsträckor ingår i datan av produktionen som hämtades från Ecoinvent. Den datan är baserad på produktion av en kylmaskin i Schweiz och här togs antagandet att produktionen i Danmark sker på samma sätt med lika mycket utsläpp och primärenergianvändning.

Kylmaskinerna tillverkas i SABROE fabriken i Danmark och sedan transporteras de till Sandvik Coromant i Sverige (Soerensen 2020). I studien antogs att fyra kylmaskiner transporteras 1071 km tillsammans i en lastbil från Danmark till Sverige. Sträckan benämns vidare som sträcka D och vid beräkning av utsläpp och primärenergianvändning användes verktyget NTM Calc.

## 3 Resultat

Resultaten från beräkningar av värmeöverföring och energi samt från livscykelanalysen presenteras nedan.

### 3.1 Värmeöverföring

I Tabell 3 redovisas värmeöverföringen och rumstemperaturen för de tre verkstadslokalererna utan och med isolering. Där ses att V86 har lägst värmeöverföring av orsaken att den har minst antal linjer följt av V95, medan V91 är den största lokalen.

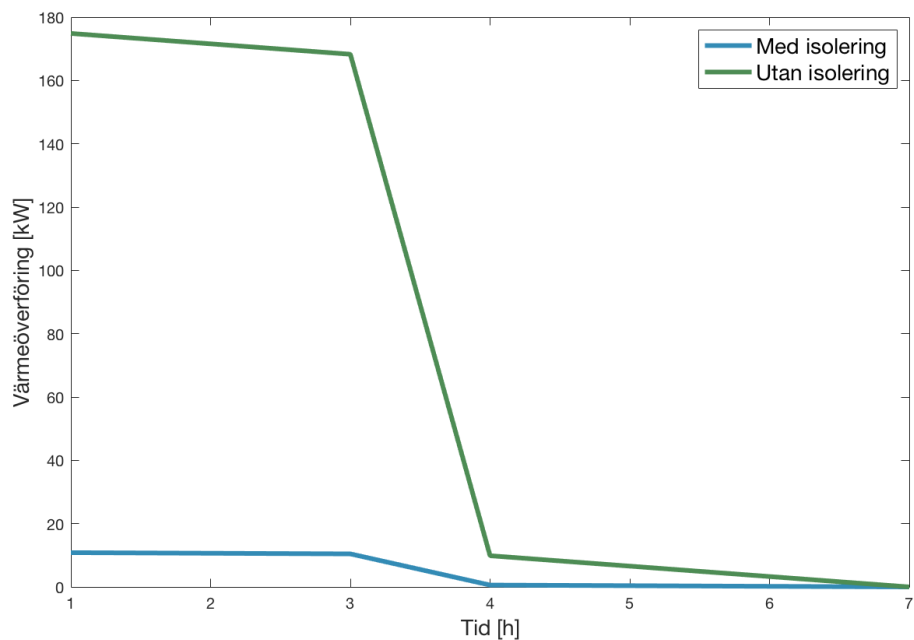
Tabell 3: Värmeöverföring och rumstemperatur med 16 cm isolering för de olika verkstadslokalerna vid *maximal belastning*.

Lokal	Utan isolering		Med isolering	
	Värmeöverföring [kW]	Rumstemperatur [°C]	Värmeöverföring [kW]	Rumstemperatur [°C]
V86	75	32	2	25
V91	388	40	15	27
V95	175	34	11	27

Värdena i Tabell 3 beräknas momentant utifrån *maximal belastning*, det vill säga vid de högsta inloppstemperaturerna. Vid beräkningarna antas isoleringens tjocklek vara 16 cm. I efterhand visar det sig däremot att gränsvärdet, där tjockleken inte längre påverkar rumstemperaturen märkbart, är cirka 10 cm. Därmed görs beräkningarna med stor marginal.

Utifrån rumstemperaturerna i Tabell 3 beräknas den operativa temperaturen. Utan isolering beräknas den till cirka 41 °C, vid en rumstemperatur på 40 °C. Störst påverkan har intilliggande kylklocka, generator och ugn, medan värmestrålningen från kanalerna är försumbar. Resultatet gäller momentant vid *maximal belastning*. Kylklockan skyddas däremot oftast med en vikvägg vilket sänker dess yttemperatur under den största delen av tiden. Med både isolering och kylmaskin blir den operativa temperaturen cirka 34 °C, vid en rumstemperatur på 27 °C. Värmestrålningen från kanalerna har fortfarande en försumbar påverkan motsvarande ungefär 1,5 procent av den totala värmestrålningen från kanaler, ugnar, generatorer och kylklockor. Däremot bidrar isolering av kanaler till minskad rumstemperatur och på så sätt till minskad operativ temperatur.

Värmeöverföringen varierar över tid eftersom att inloppstemperaturerna inte är konstanta. Kylprocessen pågår under sex timmar, kylningen antas minska linjärt, och vätgasen bränns med konstant inloppstemperatur under tre timmar. I Figur 2 jämförs värmeöverföringen per timme för fallen med och utan isolering. i figuren redovisas värden för verkstadslokal V95 och i de andra lokalerna följs samma kurva.



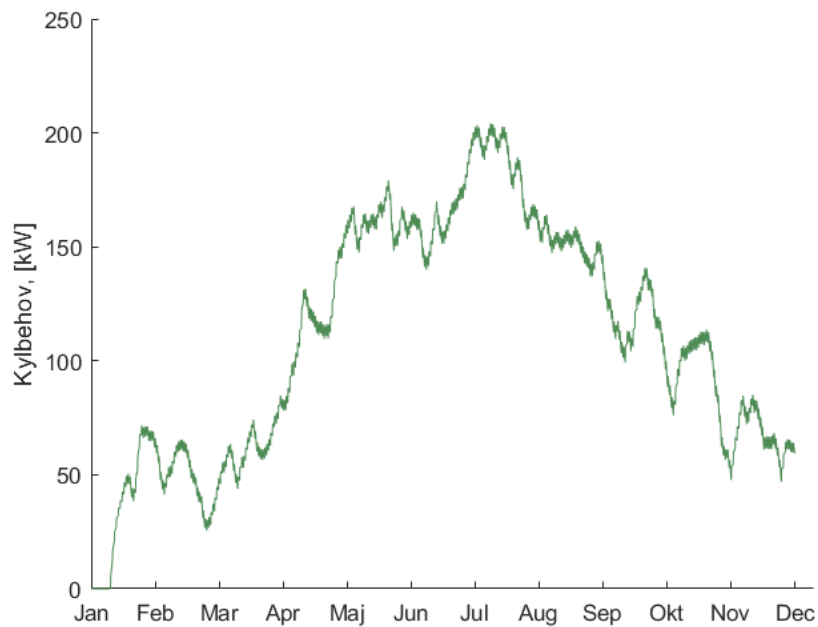
Figur 2: Värmeöverföring från kanalerna med och utan isolering för V95 under sex timmar.

I Figur 2 syns ett abrupt fall ungefär tre timmar in i tidsförloppet. Orsaken är att vätgasen slutar brännas i alla linjer samtidigt vid den tidpunkten, som följd av antagandet att alla linjer startar uppvärmningen och nedkylningen samtidigt. Det sker en märkbar minskning i värmeöverföringen om kanalerna isoleras vilket innebär att en mindre del av energin går förlorad. Detta gör att en större del av energin tillvaratas vid utloppen. Idag återvinns värmeenergin vid utloppen för uppvärmning. Att isolera ventilationskanalerna leder till högre utloppstemperaturer, cirka 350 °C, och därmed högre energi jämfört med dagens läge. Den totala energin för de tre verkstadslokalerna som kan tillvaratas med isolering är cirka 1.6 MWh under ett år.

### 3.2 Kylbehov

Kylbehovet i lokalerna varierar beroende på utomhustemperaturen. I Figur 3 visas det totala kylbehovet för de tre verkstadslokalerna under ett år.





Figur 3: Kyleffekt från kylmaskiner under ett år vid *maximal belastning*.

Från Figur 3 syns att det uppstår en effekttopp på 204 kW för kylbehovet vid *maximal belastning*. Utifrån den kylmaskin studien baserats på behövs två ChillPAC 24 A för att kunna bemöta kylbehovet vid en rekommenderad temperatur på 29 °C.

I Tabell 4 visas den högsta temperaturen i lokalerna samt kylbehovet utifrån *maximal belastning*.

Tabell 4: Rumstemperatur och kylbehov i lokalerna vid användning av kylmaskin under *maximal belastning*.

Lokal	Max. temperatur [°C]	Max. kylbehov [kW]
V86	27	28
V91	28	107
V95	27	69
Totalt	-	204

Utifrån Tabell 4 inses att alla lokaler klarar av att hålla den rekommenderade temperaturen. Det varierande kylbehovet är kopplat till antalet värmekällor i verkstadslokalerna.

### 3.3 Inventeringsanalys

De olika transportsträckornas distans, fordonstyp, transportmedel samt utsläppsdata av koldioxid, lustgas och metangas presenteras nedan i Tabell 5. De olika växthusgasutsläppen är beräknade med verktyget NTM Calc. Sträckan B står för transporten mellan Hällekis och Bilfingers lager i Gimo och sträckan C för transporten mellan Bilfingers lager i Gimo och Sandvik Coromant i Gimo. Dessa sträckor tillhör isoleringens transportflöde. Sträcka D, som tillhör kylmaskinen, står för sträckan mellan Danmark och Sverige.

Tabell 5: Detaljerad transportinformation för sträckorna B, C och D samt dess utsläpp av växthusgaser.

Sträcka	Distans [km]	Fordon	Transportsmedel	Växthusgasutsläpp		
				CO <sub>2</sub> [kg]	CH <sub>4</sub> [g]	N <sub>2</sub> O [g]
B	359,00	Lastbil	Diesel	4,8600	2,1350	0,0066
C	0,37	Van	Diesel	0,0095	0,0041	0,0003
D	1 071,00	Lastbil	Diesel	46,0000	43,0000	1,0000

Energiförbrukningen hos kylmaskiner fördelat över de undersökta verkstadslokalerna syns i Tabell 6 och baseras på simulerad rumstemperatur och kyleffekt. Energiförbrukningen är summerad över ett år och ses som grunddata för miljöpåverkansbedömningen.

Tabell 6: Energiförbrukning enbart användning av kylmaskin, *maximal belastning*.

Lokal	Energi [kWh]
V86	18 282
V91	116 260
V95	63 933
Totalt	198 475

### 3.4 Miljöpåverkansbedömning

Klimatpåverkan (GWP) och primärenergiåtgång (PE) från isolering av ventilationskanalerna respektive kylmaskin redovisas i Tabell 7 och 8 nedan. Alla resultat är redovisade per funktionell enhet,

vilket innebär att miljöpåverkan av isoleringen är beräknat på 29 m<sup>3</sup> under ett år och kylmaskinernas miljöpåverkan är beräknat på två stycken kylmaskiner under ett år.

Tabell 7: Miljöpåverkan isolering

Processteg	GWP [kg CO <sub>2</sub> – <i>ekv</i> ]	Primärenergi [MJ]
Utvinning råmaterial		
Produktion	6,69	59,50
Transport till produktion		
Transport till Bilfinger	4,93	70,30
Transport till Sandvik Coromant	0,01	0,14
Avfallshantering	-0,12	0,00
Totalt	11,51	130,00

Tabell 8: Miljöpåverkan kylmaskin

Processteg	GWP [kg CO <sub>2</sub> – <i>ekv</i> ]	Primärenergi [MJ]
Utvinning råmaterial	-	-
Produktion och transport av råmaterial	1 978	27 048
Transport till Sandvik Coromant	48	670
Användning	258	1 143 180
Avfallshantering	36	372
Totalt	2 320	1 171 270

### 3.5 Känslighetsanalys

För att undersöka i vilken grad systemet påverkas av den uppskattade vätgastemperaturen kontrolleras det med en känslighetsanalys, där temperaturen minskas respektive ökas. Detta för att den exakta temperaturen inte kunde mätas och det är därför relevant att utreda hur stor påverkan det har på resultatet. Resultatet i Tabell 9 gäller för V95 när kanalerna är isolerade. Liknande resultat fås i de andra verkstadslokalerna.

Tabell 9: Känslighetsanalys för V95 vid förändring av vätgastemperaturen. Energin i MJ anger den årliga energi som kan tillvaratas vid utloppen.

Vätgastemperatur [°C]	Värmeöverföring [kW]	Rumstemperatur [°C]	Energi [MJ]
140	3	26	0,9
833	11	27	3,2
1 520	19	27	5,5

Ytterligare en känslighetsanalys görs, där systemets beteende, vid förändring av måltemperaturen, undersöks. Anledningen är att den rumstemperatur som verkstadslokalerna ska uppnå endast är en rekommendation. Det kan därför anses relevant att se hur en förändrad måltemperatur påverkar resultatet. Resultatet gäller för alla tre verkstadslokaler tillsammans, och ses i Tabell 10.

Tabell 10: Känslighetsanalys vid förändring av måltemperatur.

Måltemperatur [°C]	Isoleringstjocklek [cm]	Kylmaskiner [Antal]	GWP [kg CO <sub>2</sub> – <i>ekv</i> ]	PE [MJ]
29	16	0	12	130
26	16	2	2 200	585 990
23	16	2	2 281	948 220

Analysen visar att om en lägre temperatur önskas i verkstadslokalerna, krävs en installation av två kylmaskiner med den kapacitet som studiens beräkningar grundar sig i. Det är intressant att antalet kylmaskiner inte skiljer sig mellan de två scenarierna med lägst måltemperaturer. Vad gäller primärenergianvändningen är däremot skillnaden markant, något som beror på att användandet utgör majoriteten av energiförbrukningen för kylmaskinen.

## 4 Diskussion

Resultatet av livscykelanalysen visar föga förvånande att isolering av processventilationen är ett bättre alternativ än installation av kylmaskin. Det är tydligt att själva användningen över året av

kylmaskinen är det som bidrar till den största miljöpåverkan, men även i produktionen var påverkan markant större för kylmaskinen. Eftersom miljöpåverkan från kylmaskinen var mycket högre än isoleringen, togs beslutet att övriga komponenter som ingår i ett kylsystem kunde försummas. Det är dock nämnvärt att det för nedkylning av fabrikslokalerna krävs att dessa övriga komponenter ingår, vilket skulle innebära ännu högre värden i miljöpåverkansbedömningen för kylmaskinen. Alltså en större påverkan.

Utifrån simulering vid *maximal belastning* för kylmaskin uppfylls målet med max 29 °C i samtliga verkstadslokaler. I Tabell 10 visas en kombination av isolering och kylmaskin för måltemperaturerna 23, 26 och 29 °C. För att uppnå en behaglig arbetstemperatur för måttlig och hög arbetstyngd (26 resp 23 °C) fås den bästa lösningen vid kombination av isolering och kylmaskin. Utifrån den sammanlagda effekttoppen, se Tabell 10, och Figur 3, räcker det med två ChillPAC 24 A kylmaskiner för alla scenarier. Eftersom att användningen har störst miljöpåverkan hos kylmaskinerna, kan den minimeras genom att isolera värmekällorna i verkstadslokalerna.

För den operativa temperaturen gäller andra rekommendationer. Enligt SOSFS 2005:15 (Warfvinge och Dahlblom 2010) rekommenderas en operativ temperatur på mellan 26-28 °C under sommarhalvåret. Varken isolering eller kylmaskin, med vald effekt, klarar av denna gräns vid *maximal belastning*. Detta beror främst på värmestrålningen från kylklockor, ugnar och generatorer. Majoriteten av tiden överstigs gränsen dock inte och därmed är båda alternativen bra lösningar sett ur detta perspektiv.

Att isolera ventilationskanalerna leder inte bara till en temperatursänkning i de berörda lokalerna. Det leder också till en ökad mängd återvinnbar värme ifrån processerna, vilket i sin tur ger nya utmaningar. I detta fall ses möjligheterna att nyttja denna värme. I första hand bör restvärmen omhändertas och användas i industrins egna processer, det vill säga i form av någon återkoppling in i de processer som kräver energi. Detta är enligt Naturvårdsverket en första alternativ lösning som industrin i fråga borde titta på (Naturvårdsverket 2005).

Värmeenergi är den energibärare som har lägst energikvalitet. Det innebär att endast en liten del av energin blir nyttigt arbete vid omvandling. Vid omvandling till exempelvis elektrisk energi krävs en värmemotor som vanligtvis har en verkningsgrad på cirka 40 procent, därför är det mest effektivt att använda värmeenergin direkt, exempelvis i industrins egna processer (Cengel, Cimbala och Turner 2016). Utöver att använda värmeenergin i sina egna processer kan en lösning i form av uppkoppling på ett fjärrvärmenät, exempelvis till närliggande byggnader, vara ett lönsamt alternativ (Naturvårdsverket 2005). Detta är ett effektivt sätt att minska koldioxidutsläpp och har tagits i bruk av industrier runt om i Sverige där det har visat sig vara ett vinnande koncept.

Restvärmen vid utloppen, som enligt resultatet beräknats till 1,6 MWh per år, kan jämföras med värmebehovet för en lunchlokal på AB Sandvik Coromant. I en studie redovisas att behovet ligger på ungefär 6,2 MWh per år (Nordin 2016). Alltså skulle restvärmeenergin från de tre lokalerna, enligt beräkningar, täcka runt en fjärdedel av lunchlokalens värmebehov. Andelen är däremot ett osäkert resultat. Osäkerheten beror delvis på att beräkningarna görs utifrån en *maximal belastning*, men kan också bero på modellens känsligaste parameter, vätgastemperaturen. I Tabell 9 kan det utläsas att vätgastemperaturen har en stor påverkan på energin, som beror av utloppstemperaturen. Enligt beräkningarna skulle utloppstemperaturerna vara för höga för fläktarnas kapacitet utan isolering, vilket innebär att fläktarna inte skulle hålla idag. Uppenbarligen håller fläktarna idag, vilket innebär att resultaten är en indikation på att modellen har brister.

Det kan däremot med säkerhet konstateras att isolering medför att flänsbatterierna och fläktarna kommer utsättas för högre temperaturer. Flänsbatterierna, som består av aluminium och koppar, klarar av de beräknade utloppstemperaturerna. Fläktarna uppskattas, å andra sidan att hålla för temperaturer på maximalt 200 °C under två timmar. Utloppstemperaturerna bör undersökas närmre om isolering blir aktuellt.

Isolering av kanalerna sänker temperaturen i lokalerna, men är inte den enda faktorn som påverkar rumstemperaturen. Kylklocka, ugn och generator bidrar med en konstant värmeförsörjning till lokalerna, och vid isolerade kanaler blir deras påverkan på rumstemperaturen central.

#### 4.1 Rekommendationer

Baserat på beräkningar och LCA blir rekommendationen att värmeisolera ventilationskanalerna. Detta av de två främsta anledningarna:

- Möjligheten att återanvända restvärmen.
- Isolering har en mycket lägre miljöpåverkan och ingen driftkostnad.

Rekommendationerna baseras på att man med isolering av processventilationskanalerna kan nå rekommenderad temperatur i verkstadslokalerna. Livscykelanalysen visar på att isolering har en markant mindre miljöpåverkan jämfört med kylmaskinen. När möjligheten att isolera finns bör detta göras, både ur ett miljöperspektiv, men också ur ett kostnadsperspektiv. Driften av kylmaskinen är, i jämförelse med isoleringen, ett sämre alternativ om man tittar på kostnaden där isoleringens driftkostnad kommer att vara obefintlig. Snarare är det så att företaget i en kostnadsfråga kan gå plus om ventilationssystemet isoleras, då detta ger en möjlighet att ta vara på och återanvända restvärmen, exempelvis i egna system.

Eftersom att den rekommenderade temperaturen fortfarande är ganska hög rekommenderas att undersöka möjligheten att isolera de övriga komponenterna som avger mest värme, ugnen och kylklockan. Detta förslagsvis med någon form av isolerande vikkvägg.

De varmaste delarna av processventilationen når väldigt höga temperaturer (>600 °C). Enligt Paroc (2017b) kan fibrerna närmast kanalen på isoleringen skadas. På dessa delar kan ett lager Superwool tilläggas mellan kanalen och isoleringen. Detta är inte nödvändigt på hela processventilationen men kan, där det behövs, förhindra att stenullens fibrer närmast kanalytan förstörs. Eftersom majoriteten av kanallängderna inte överskrider 600 °C samt att mängden superwool skulle vara marginell, har inga beräkningar gjorts på den produkten. Rekommendationen blir ändå att det vid val av isolering läggs ett lager Superwool på de hetaste ytorna.

## Referenser

- Arbetsmiljöverket (1997). *Arbete i stark värme*. Tekn. rapport. AFS 1997:2. Arbetsmiljöverket.
- Cengel, Y., J. Cimbala och R. Turner (2016). *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. 5. utg. 1:5. Asien: McGraw-Hill Education.
- Copenhagen economics (2018). *THE BIGGER PICTURE Swedish energy requirements in new buildings in a broader perspective*. <https://www.copenhageneconomics.com/dyn/resources/Filelibrary/file/9/159/1533135169/copenhagen-economics-2018-swedish-energy-building-codes-in-a-broader-perspective.pdf>.
- Energi & klimatrådgivningen (2018). *Miljöpåverkan från el*. <https://energiradgivningen.se/klimat/miljopaverkan-fran-el>.
- Eriksson, M. och M. Göräng (2013). *Kontorskyla*. Examensarbete i energiteknik. Eskilstuna: Mälardalens högskola.
- Naturvårdsverket (2005). *Goda möjligheter med spillvärme*. Tekn. rapport. 5373. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Nordin, M. (2016). *Kan restvärme från rörtillverkning tas tillvara till intern fjärrvärme?* [https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:971794/FULLTEXT02?fbclid=IwAR39dQMuv1UKbbqxVwzjdZ7FmSMhNPpVnE8TODyswewqe\\_d3K0l7swcCc00.html](https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:971794/FULLTEXT02?fbclid=IwAR39dQMuv1UKbbqxVwzjdZ7FmSMhNPpVnE8TODyswewqe_d3K0l7swcCc00.html).
- Paroc (2017a). *Produkter byggisolering*.
- (2017b). *PAROC Pro Section 140*.
- (u.å.). *Värmeisolerade kanaler*. <https://www.paroc.se/losningar/vvs/varmeisolerade-kanaler>.
- (2020). *PAROC Calculus*. [https://calculus.paroc.com/paroc-calculus/index\\_se.html](https://calculus.paroc.com/paroc-calculus/index_se.html).
- Samuelsson, E. (2019). *Environmental product declaration - PAROC Stone Wool Thermal Insulation (eXtra)*. Tekn. rapport. NEDP-1976-873-EN. PAROC AB.
- SMHI (2019). *Uppsalas temperaturserie 1722-2018*. [https://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.2866!/uppsala\\_tm\\_1722-2018.zip](https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.2866!/uppsala_tm_1722-2018.zip).
- Soerensen (2020). "Personal communication, SABROE Nordic". E-Mail: Kenneth.Soerensen@jci.com.
- Warfvinge, C. och M. Dahlblom (2010). *Projektering av VVS-installationer*. 1:15. Stockholm: Kristianstads Boktryckeri AB.

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energioghteknik](http://www.slu.se/energioghteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000